

Adaptive Dual Fuzzy 알고리즘을 이용한 고층 빌딩의 엘리베이터 군 제어에 관한 연구

최승민*, 김훈모**

A Study on Elevator Group Controller of High Building using Adaptive Dual Fuzzy Algorithm

Seung Min Choi*, Hum Mo Kim**

ABSTRACT

In this paper, the development of a new group controller for high-speed elevator is carried out utilizing the approach of an adaptive dual fuzzy logic. Some goals of control are the minimization of waiting time, mean-waiting time and long-waiting time in a high building. when a new hall call is generated, adaptive dual fuzzy controller evaluate traffic pattern and change appropriately the membership function of a fuzzy rule base. Controls for co-operation among elevators in a group control algorithm are essential, and the most critical control function in the group controller is an effective and proper hall call assignment of elevators. The group elevator system utilizing adaptive dual fuzzy control reveals a great deal of improvement on its performance.

Key Words : Elevator Group control (엘리베이터 군 제어), Hall call assignment(승강장요구 할당), Adaptive dual fuzzy control (적응식 2중 퍼지 제어)

기호설명

x, y : Input value of fuzzy controller(crisp sets)
 A, B, N, U, P, Q, S, V : Fuzzy sets
 θ : Center of membership function
 $\mu_A(x)$: Membership function for fuzzy set A
 p : Parameter influenced to input variable
 Φ : Evaluation function

1. 서론

빌딩의 고층화, 대형화와 더불어 엘리베이터(car)의 고속화와 함께 건물에서 이동하는 사람들의 숫자가 많아짐에 따라 복수대의 엘리베이터를 효과적으로 운전하고 승객의 편의를 위한 군 관리 방식이 매우 중요하다. 본 논문에서는 기존의 제어 논리를 개선하여 엘리베이터 시스템의 성능을 향상시키고자 한다.

초기의 엘리베이터 군 제어에서는 Normal, Down-peak, Up-peak 교통양식 등의 시간대에 따른 단순한 패턴에 따라 운행이 결정되었다. 기존의 군

* 성균관대 대학원 기계공학과

** 성균관대 기계공학부

제어 방식은 대체로 마이크로 프로세서를 이용하여 예측된 각 승강호출의 대기시간들만을 이용하여 수행되었다. T.Tobital¹⁾등이 이러한 방식을 사용하였다. 그러나, 고정된 평가 항목만을 사용하는 군 제어 방식들은 한가지 평가항목만을 최소화하는 것을 목적으로 하여 상호보상 관계인 제어목적들을 종합적으로 평가할 수 없다. 고층의 사무용 건물에서의 교통 요구는 저층에서 고층으로의 요구 혹은 고층에서 저층으로의 요구가 주로 나타나거나, 혼합되어 나타나는 경우가 많은데 군 제어 시스템의 문제를 이러한 특별한 교통요구 패턴에 맞도록 간소화시켜, 이론적인 방법을 도입한 연구도 이루어 졌다. D.L.Pepyne^{2,3)}등은 특히 상향 교통 요구 패턴(up-peak traffic pattern)에 대해 연구하였다.

W.L.Chan^{4,5)}등은 상향 교통 요구와 하향 교통 상황에 대해서 각 엘리베이터에 할당된 Zone을 교통량 요구의 변화에 따라서 동적으로 변화시키는 동적(dynamic) Zoning 방법을 제안하였다. 이러한 Zoning 혹은 동적 Zoning 방법은 층수가 아주 높은 건물에서 출근 시간과 같은 특수한 교통 상황에서는 필수적이지만 층수가 아주 높지 않은 건물에서는 오히려 그 효과가 크게 나타나지 않을 수도 있으며, 백화점과 같은 층간의 이동이 많은 건물에서는 적용하기가 힘들다.

A.F.Alani⁶⁾등은 승객에 대한 일주시간(overall trip time)을 줄이기 위하여 모든 가능한 할당 방법을 찾아 검사(exhaustive search)하는 방식을 연구하였다. B.A.Powell⁶⁾은 출근시간의 교통과 점심시간대의 교통을 다루기 위하여 Channelling 방식을 개발하였다. Channelling은 서비스되는 상위층의 개수를 줄여서, 한 대의 승강기가 동일한 도착지점을 가지는 승객만을 수용하여 일관된 도착지점의 장점을 최대한 살리려는 시도이다. 이러한 개념은 출근 시간 교통과 퇴근 시간 교통 모두를 포함하여 발전되었다.

신경망에 기반한 군 관리 제어기는 입력 데이터와 지속적인 학습을 통하여 새로운 상황에 적응할 수 있는 능력을 갖도록 하기 위한 것이다. M.Amano⁸⁾등은 신경망을 이용하여 트래픽 패턴을 인지하고, 승강장 호출에 대한 할당에 이용하였다. 또다른 이론적 측면에서 A.T.P.So⁹⁾등은 신경망 기술을 다섯 개의 트래픽 패턴(Up-peak, Down-peak, Off-peak, One-way, Two-way)을 인식하기 위해 사용되었다. 이러한 신경망을 이용한 방법들은 On-line

상으로 이루어 질 수 없고 Off-line상태에서 이루어져야하고 그 학습 데이터 수가 많고 모든 경우를 학습 할 수 없다는 단점을 드러내었다.

퍼지 로직을 처음 엘리베이터 시스템에 구현한 것은 미쓰비시 회사였다¹⁰⁾. 현재의 대부분의 일본 엘리베이터 제조회사는 군 제어에 퍼지 로직을 사용한다. 승강장 요구가 있을 때마다 적절한 규칙(rule)이 If-then 규칙에 의해 선택된다. 퍼지 로직을 엘리베이터 군 제어에 적용한 이유는 군 제어 목적의 다양성, 엘리베이터 시스템의 불확실성 때문이다. 퍼지 로직을 사용한 군 제어기의 특징은 숙련가가 제어의 룰을 결정하고, 이러한 룰은 설치시에 고정된다는 것이다. 숙련된 엔지니어의 경험적 지식에 의해 제어기는 엘리베이터의 불확실성과 비선형성등을 잘 관리할 수 있다. 하지만 퍼지 로직의 단점은 퍼지 멤버쉽 함수의 조절이 어렵고, 새로운 룰을 개발하여 변형하기에 많은 노력이 필요하다는 것이다. 퍼지나 신경망을 적용한 많은 연구에서 군 제어 시스템이 적용되는 현장의 사양의 변화에 대해서 설계를 새롭게 변경해야 하는 단점들을 드러내어왔다.

본 연구에서는 다양한 제어 목적을 만족시키기 위해 퍼지 논리를 사용하고, 기존의 룰 베이스의 고정에 따른 문제를 해결하고자 Adaptive Dual Fuzzy 제어기를 제안하고 엘리베이터 군 제어 시스템에 적용하여 다양한 교통 환경에 적용하도록 한다.

2. Adaptive Dual Fuzzy Algorithm

일반적인 퍼지 제어기는 알려진 시스템, 즉 예측 가능한 시스템에서 발생하는 불확실하거나 애매한 정보를 입력 데이터로 처리하는 데에는 범용적으로 사용할 수 있다. 그러나, 예측 불가능한 상황 또는 입력 변수에 영향을 주는 파라미터가 존재하는 경우는 일반적인 퍼지 제어기로는 해결하기 어려운 문제점이 있다. 이러한 시스템에서는 조건에 따라 퍼지 룰 베이스를 변형하여 사용하는 메커니즘을 필요로 한다.

2.1 Adaptive Dual Fuzzy Controller

Fig. 1의 제어기의 구조에서 볼 수 있듯이 Adaptive Dual Fuzzy 제어기는 퍼지 제어부와 멤버쉽 함수의 계수를 변화시키는 적응 퍼지부의 2부분으로 구성된다.

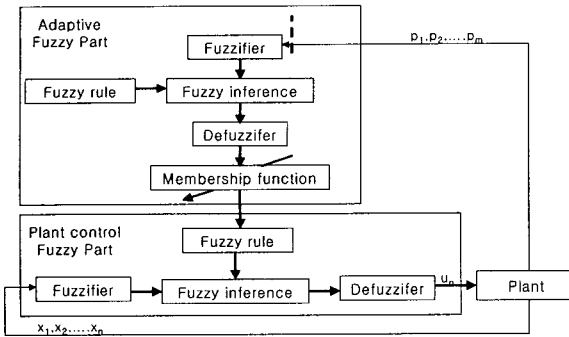


Fig. 1 Adaptive dual fuzzy controller

퍼지 제어부로의 시스템의 상태 입력을 x_1, x_2, \dots, x_n , 출력을 u 라 하고 입력 변수에 영향을 주는 파라미터를 p_1, p_2, \dots, p_m 인 경우를 고려해 보자.

이 시스템의 퍼지 제어부의 제어규칙이 다음과 같이 설정되었다고 하고 추론 방법으로 Mamdani의 직접법을 사용한다.

- R1) If x_1 is A_1 and x_2 is B_1 and ... and x_n is N_1
 then u is U_1
 If x_1 is A_2 and x_2 is B_2 and ... and x_n is N_2
 then u is U_2
 ⋮
 If x_1 is A_l and x_2 is B_l and ... and x_n is N_l
 then u is U_l (1)

그리고, 입력 변수에 영향을 주는 파라미터를 가지고 적응 퍼지부의 제어 규칙을 다음과 같이 설정한다.

- R2-1) If p_1 is P_1 and p_2 is Q_1 and ... and p_m is S_1
 then θ_1 is V_{11}
 If p_1 is P_2 and p_2 is Q_2 and ... and p_m is S_2
 then θ_1 is V_{21}
 ⋮
 If p_1 is P_z and p_2 is B_z and ... and p_m is N_z
 then θ_1 is V_{z1}
 R2-2) If p_1 is P_1 and p_2 is Q_1 and ... and p_m is S_1
 then θ_2 is V_{12}
 If p_1 is P_2 and p_2 is Q_2 and ... and p_m is S_2
 then θ_2 is V_{22}
 ⋮
 If p_1 is P_z and p_2 is B_z and ... and p_m is N_z
 then θ_2 is V_{z2} (2)

R2에는 $\theta_3, \dots, \theta_l$ 에 대한 제어 규칙도 포함된다. 여기서 A, B, N, U, P, Q, S, V 는 모두 퍼지 집합이고 θ 는 퍼지집합 U 의 계수이다.

만약, 시스템으로부터 확정값 x_1', x_2', \dots, x_n' 와 p_1', p_2', \dots, p_m' 이 입력되었다면, 다음과 같은 순서로 출력 u_0 가 결정된다. R2-1의 적합도(ψ)는 다음과 같다.

$$\psi_1 = \mu_{P_1}(p_1') \wedge \mu_{Q_1}(p_2') \wedge \dots \wedge \mu_{S_1}(p_m')$$

$$\psi_2 = \mu_{P_2}(p_1') \wedge \mu_{Q_2}(p_2') \wedge \dots \wedge \mu_{S_2}(p_m')$$

$$\vdots$$

$$\psi_z = \mu_{P_z}(p_1') \wedge \mu_{Q_z}(p_2') \wedge \dots \wedge \mu_{S_z}(p_m') \quad (3)$$

따라서, 규칙 R2-1의 각 규칙들의 추론 결과는,
 $\mu_{V_{11}}(\theta_1) = \psi_1 \wedge \mu_{V_{11}}(\theta_1)$
 $\mu_{V_{21}}(\theta_1) = \psi_2 \wedge \mu_{V_{21}}(\theta_1)$

$$\mu_{V_{z1}}(\theta_1) = \psi_z \wedge \mu_{V_{z1}}(\theta_1) \quad (4)$$

이고, 최종적인 추론 결과는 다음과 같다.

$$\mu_{V_1}(\theta_1) = \mu_{V_{11}}(\theta_1) \vee \mu_{V_{21}}(\theta_1) \vee \dots \vee \mu_{V_{z1}}(\theta_1) \quad (5)$$

같은 방법으로 $\theta_2, \dots, \theta_l$ 에 대해서도 적용한다.

$$\mu_{V_2}(\theta_2) = \mu_{V_{12}}(\theta_2) \vee \mu_{V_{22}}(\theta_2) \vee \dots \vee \mu_{V_{z2}}(\theta_2)$$

$$\mu_{V_3}(\theta_3) = \mu_{V_{13}}(\theta_3) \vee \mu_{V_{23}}(\theta_3) \vee \dots \vee \mu_{V_{z3}}(\theta_3)$$

$$\vdots$$

$$\mu_{V_l}(\theta_l) = \mu_{V_{1l}}(\theta_l) \vee \mu_{V_{2l}}(\theta_l) \vee \dots \vee \mu_{V_{zl}}(\theta_l) \quad (6)$$

이를 무게중심법으로 비퍼지화하면 다음과 같다.

$$\theta_{10} = \int \mu_{V_1}(y) y dy / \int \mu_{V_1}(y) dy$$

$$\theta_{20} = \int \mu_{V_2}(y) y dy / \int \mu_{V_2}(y) dy$$

$$\vdots$$

$$\theta_{l0} = \int \mu_{V_l}(y) y dy / \int \mu_{V_l}(y) dy \quad (7)$$

이 값들을 퍼지 제어부에 적용시켜 퍼지 규칙 후건부의 멤버쉽 함수 U_1, U_2, \dots, U_l 를 U_1, U_2, \dots, U_l 로 변경하여 최종 실제 출력 값 u_0 를 구한다.

u_0 는 다음과 같은 순서로 구할 수 있다.

$$\mu_{\frac{u}{U_1}}(u) = \mu_{A_1}(x_1) \wedge \mu_{B_1}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{N_1}(x_n) \wedge \mu_{\frac{u}{U_1}}(u)$$

$$\mu_{\frac{u}{U_2}}(u) = \mu_{A_2}(x_1) \wedge \mu_{B_2}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{N_2}(x_n) \wedge \mu_{\frac{u}{U_2}}(u)$$

$$\vdots$$

$$\mu_{U_i}(u) = \mu_{A_i}(x_1) \wedge \mu_{B_i}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{N_i}(x_n) \wedge \mu_{U_i}(u) \quad (8)$$

$$\mu_{\tilde{U}}(u) = \mu_{U_1}(u) \vee \mu_{U_2}(u) \vee \dots \vee \mu_{U_i}(u) \quad (9)$$

$$u_o = \int \mu_{\tilde{U}}(y) y dy / \int \mu_{\tilde{U}}(y) dy \quad (10)$$

3. 엘리베이터 군제어 시스템

Fig.2는 엘리베이터 군제어 시스템의 구성도이다.

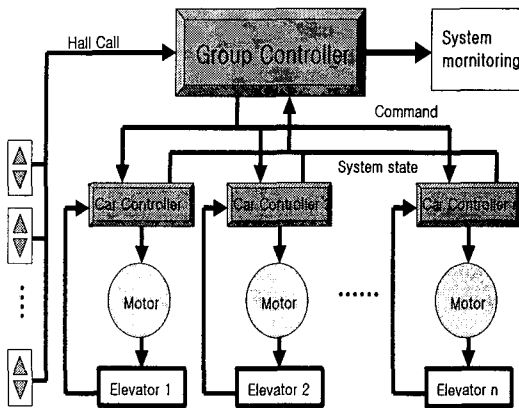


Fig. 2 System configuration

군 제어기는 각 호기 제어기(Car Controller)로부터 운행상의 필요정보를 취득하여 평가목표에 부합하는 최적의 엘리베이터에게 승강호출(Hall Call)을 할당한다. 승강호출에는 각 층에서 이용자가 엘리베이터 사용의사를 등록하는 호출로 상향 승강호출과 하향 승강호출의 두 종류가 있다. 모니터링 시스템은 군 제어기로부터 상태데이터를 입력받아 현재의 엘리베이터 상태를 화면출력하며 각종 운행데이터를 수집하고 저장한다. 그리고 사용자의 요구사항을 군 제어기에 전달함으로써 원하는 제어형태를 제공한다. 각 호기제어기는 실제 엘리베이터를 수행시키는 부분으로 엘리베이터의 출발, 가감속, 정지, 문개폐등의 동작을 제어하며 운행결정에 필요한 호기의 상태를 군 제어기에 전달하여 준다. 군 제어기는 호기제어기로부터 전달받은 상태 자료

와 모니터링 시스템으로부터 전송된 관리자의 요구를 기반으로 등록된 승강호출에 최적의 할당호기를 결정하며 상태자료를 모니터링 시스템에 전달한다.

3.1 시스템 모델링

3.1.1 군 제어 시스템 상태 정보

엘리베이터 시스템을 정확히 모델링하기 위해서는 무엇보다 시스템의 상태정보를 알아야 한다. 상태정보란 현재의 시스템의 상태를 묘사함으로써 다음 시스템의 동작을 예측할 수 있는 데이터를 말한다. 상태정보는 일반적으로 관측 가능한(observable) 것과 관측 가능하지 않은(non-observable) 것으로 분류할 수 있는데, 예를 들어 현재 엘리베이터가 머무르는 층은 관측가능한 데이터이며, 현재 승강기에 탑승한 승객의 숫자는 관측 불가능한 데이터이다. 따라서, 상태 정보중에서 관측이 가능한 데이터만이 실제의 상태정보로 사용된다. Table. 1은 엘리베이터 시스템의 관측 가능한 데이터를 나타내고 있다.

Table 1 System information of a elevator system

| 항 목 | 기 호 | 관측성 |
|---------------|-----------------|-----|
| 현재 층수 | F _i | O |
| Car의 움직임 및 방향 | D _i | O |
| Car Call의 집합 | C _{is} | O |
| Hall Call의 집합 | H _{is} | O |
| Car의 속도 | V | O |
| 중량 초과 | L _i | O |

3.1.2 승강장 요구 응답 시간(Hall Call Response Time : Tr)

승강장 요구 응답 시간(Tr)을 정확히 계산하기 위해서는 엘리베이터의 상태정보를 모두 고려해서 모델링을 해야한다. 엘리베이터의 위치 및 움직임(속도와 방향등)과 함께, 할당된 승강장 요구, 승강기 내부요구, 그리고 미래에 추가의 입력요구가 있거나 원래 있던 요구가 취소되는 경우에 실제의 Tr은 예측된 값보다 더 길어지거나 짧아 질 수 있다.

Fig. 3은 승강장 요구 응답 시간의 계산에 필요한 파라미터들을 도시하고 있다.

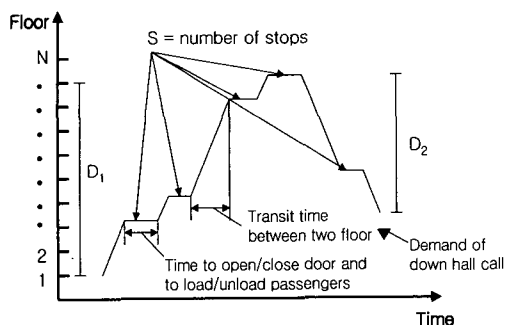


Fig. 3 a Parameter on hall call response time

Tr을 계산할 때, 우선적으로 고려되는 것은 승강장 요구가 발생한 층까지 움직여야 하는 거리 (D=D₁+D₂)와 그 승강장 요구까지 이동하면서 겪게 되는 멈춤 횟수(S)이다. 또한 D와 S뿐만이 아니라, 엘리베이터가 서비스하기 위해서 어떤층에 멈추었을 때, 승객의 타고 내림으로 인해 지연되는 시간, 엘리베이터 문의 열고 닫히는 시간도 포함된다.

$$D = (F_n - F_i) \cdot x \quad (11)$$

$$S = C_{is} + H_{is} - (C_{is} \cap H_{is}) \quad (12)$$

$$T_s = T_d + P_i \cdot T_{pi} + P_o \cdot T_{pu} \quad (13)$$

여기서, F_n은 새로운 Hall Call이 발생한 층이고 x는 층간 거리이다. T_s는 승강기가 요구에 대해 멈추었을때의 지연 시간이고 T_d는 Door의 개폐시간, T_{pi}은 승객 1인이 타는데 걸리는 시간이고, T_{pu}는 승객 1인이 내리는데 걸리는 시간이다. 또한 P_i는 승강기로 유입되는 승객의 수이고 P_o는 승강기를 내리는 승객의 수이다.

위의 모든 항목들을 고려해 승강장 요구응답 시간을 구해보면,

$$T_{ir}(e) = \frac{(F_n - F_i) \cdot x}{V} + S \cdot (T_d + P_i \cdot T_{pi} + P_o \cdot T_{pu}) \quad (14)$$

로 표현 가능하며, 이 값이 새로운 호출까지 엘리베이터의 도달 시간이다.

그리고, 본 논문에서는 각 엘리베이터에 할당되는 작업량이 평균화되는 방향으로 군제어를 행하기

위해 평균 대기시간(T_m)을, 그리고 승객의 승강기를 기다림에 따른 초조감을 고려해서 장대기 시간(T₁)도 엘리베이터를 할당하는데 필요한 평가량으로 선정한다.

3.1.3 교통 상태의 운행 패턴 결정

본 연구는 교통 요구패턴(up-peak traffic, down-peak traffic, normal traffic)의 변화 정도에 따라 적절히 룰베이스를 변화시켜 가며 최적의 승강기를 할당하게 된다. 본 연구에서는 Call이 발생할 때마다 패턴 정도를 갱신하는 방법을 제안하며 이 값의 변화에 따라 적절히 룰베이스를 적응시키게 된다.

일반적으로 빌딩에서 Up-peak traffic의 발생과 Down-peak traffic의 발생 양상은 다르게 나타난다. Up-peak traffic은 주로 출근시간에 기준층에서 Up-Hall Call이 발생하여 모든 전층으로 Car Call이 발생하는 반면, Down-peak traffic은 점심시간대와 퇴근 시간대에 주로 나타나며 거의 전층에서 Down-Hall Call이 발생하고 기준층으로의 Car Call이 발생하는 현상을 보인다. 따라서 그 계산 방법에는 차이가 있다.

(1) Up-peak traffic의 계산

Up-peak traffic의 정도를 계산하기 위해서 중요한 데이터를 살펴보면, 새로운 Up-Hall Call이 발생하였을 때 그 이전에 발생한 Up-Hall Call들이 얼마나 자주 Call이 발생하는가를 판별하는 시간 간격과 각 Up-Hall Call들에 대해 Car Call의 개수가 중요한 변수이다. Car Call이 많이 발생하였다는 것은 서비스를 원하는 사람이 많이 몰렸다는 것으로 판단할 수가 있다.

Fig. 4는 새로운 Up-Hall Call(h_{nc})이 발생했을 때 Up-peak를 계산하는데 필요한 데이터를 도시하고 있다.

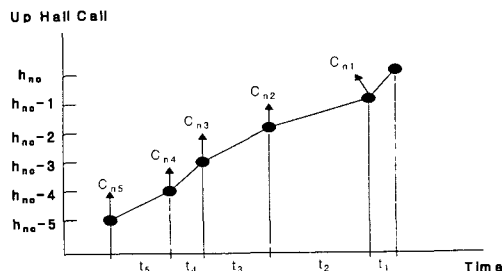


Fig. 4 Variable of Traffic pattern

새로운 Up-Hall Call 이전의 Hall Call들의 시간 간격이 작을수록 그리고 Car Call이 많을수록 Up-peak traffic이라고 볼수 있으며, 새로운 Hall Call 바로 이전의 데이터가 가장 중요하게 작용하므로 오래전 데이터일수록 그 Weight가 작아지게 된다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$U_p = \sum_{p=1}^5 \alpha_p \frac{C_{np}}{t_p} \quad (15)$$

여기서, U_p 는 Up-peak의 평가치이고 α_p 는 Weight factor이며, C_{np} 는 h_{nc} -p번째 Hall Call에 대한 Car Call의 갯수이다. 만약 h_{nc} 의 Up Hall Call이 아직 서비스 되지 않아 Car Call의 발생이 없다면 최소한 하나 이상의 Car Call이 발생 예정이므로 $C_{np} = 1$ 로 설정한다. 그리고 t_p 는 각 Hall Call간의 시간 간격이다. α_p 는 h_{nc} 바로 이전의 데이터가 가장 중요하고 그 이전의 데이터 일수록 비중이 작아지므로, $\alpha_p = (6-p)^2$ 로 설정한다.

(2) Down-peak traffic의 계산

Down-peak traffic이 발생 할 때에는 Up-peak와는 달리 짧은 시간에 Down-Hall Call이 여러층에서 동시다발적으로 발생하는 경향이 있다. 따라서 고려하는 과거 데이터의 개수를 늘릴 필요성이 있으며 Weight factor도 새로운 방식으로 계산을 행해야 한다.

$$D_p = \sum_{p=1}^{15} \alpha_p \frac{C_{np}}{t_p} \quad (16)$$

α_p 는 Up-peak와는 달리 짧은 시간에 여러 Hall Call들이 발생하므로 h_{nc} -1과 h_{nc} -2와는 그 비중이 거의 차이가 없다. 즉, 조금 오래전에 발생한 Hall Call에만 그 영향을 미친다. 따라서,

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 5, \quad \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 4, \quad \alpha_7 = \alpha_8 = \alpha_9 = 3$$

$$\alpha_{10} = \alpha_{11} = \alpha_{12} = 2 \quad \alpha_{13} = \alpha_{14} = \alpha_{15} = 1 \quad (17)$$

로 설정한다.

U_p 와 D_p 의 값이 어떤 값의 이하인 경우는 Normal traffic이라고 정의한다.

4. Adaptive Dual Fuzzy제어기 설정

본 논문에서는 대기시간, 평균 대기시간, 장대기 시간을 평가 함수로두고 이들 계산된 값에 따라 엘리베이터 각 호기의 평가값이 계산되어 가장 평가값이 높은 엘리베이터가 최종 선정된다. 이를 위

한 퍼지 제어 규칙을 다음과 같이 설정한다.

퍼지 제어기에 사용된 언어 변수는 다음과 같다.

- T_r : 대기시간 T_m : 평균 대기시간
- T_l : 장 대기시간
- VL : Very Long LG : Long MD : Middle
- SH : Short VS : Very Short

Ψ_1 : Priority1 Ψ_2 : Priority2

- VB : Very Big BG : Big MD : Middle
- SM : Small VS : Very Small

엘리베이터의 최적의 호기 선정을 위한 2개의 퍼지 제어 규칙을 다음과 같이 표현된다.

- rule 1) If T_r is VB and T_m is BG then Ψ_1 is VS
- rule 2) If T_r is VB and T_l is BG then Ψ_2 is VS

본 연구에서는 대기 시간과 평균 대기시간의 각 호기별 적합도를 나타내는 제어 규칙이 25개이고 대기 시간과 장 대기 시간의 각 호기별 적합도를 나타내는 제어 규칙도 역시 25개이다.

Table. 2,3에서 각 호기별 적합도 판별에 사용될 제어 규칙을 선보이고 있다.

Table 2 Rule base for Ψ_1

| $T_r \backslash T_m$ | VL | LG | MD | SH | VS |
|----------------------|----|----|----|----|----|
| VL | VS | VS | SM | SM | SM |
| LG | VS | SM | SM | MD | MD |
| MD | SM | MD | MD | MD | BG |
| SH | MD | MD | BG | BG | VB |
| VS | MD | BG | BG | VB | VB |

Table 3 Rule base for Ψ_2

| $T_r \backslash T_l$ | VL | LG | MD | SH | VS |
|----------------------|----|----|----|----|----|
| VL | VS | VS | VS | VS | VS |
| LG | VS | SM | SM | SM | SM |
| MD | VS | SM | MD | MD | BG |
| SH | SM | MD | BG | BG | VB |
| VS | MD | BG | BG | VB | VB |

위의 과정을 통해 나온 Priority1과 2를 이용하여 각 호기의 평가값(Φ)을 구한다. 그리고, 모든 엘리

배터 중 평가값이 가장 큰 호기를 최종 선정호기 (U)로 선정한다.

$$\Phi(i) = \Psi_1(i) + \Psi_2(i) + \lambda(i) \quad (18)$$

$$U = \text{Max}[\Phi(i)] \quad (19)$$

여기서, λ 는 각 호기의 Car Call 의 상황을 분석하여 새로운 Hall Call과 일치하는 Car Call이 있을 경우 그 엘리베이터에 가중치를 부여한다. 그리고, 새로운 Hall Call과 가까운 층에 Car Call이 있더라도 가능하면 그 엘리베이터를 할당하기 위해 가중치를 부여한다.

Fig. 5는 Adaptive Dual 퍼지 제어를 사용한 엘리베이터 군제어 시스템의 전체 Block Diagram을 나타내고 있다.

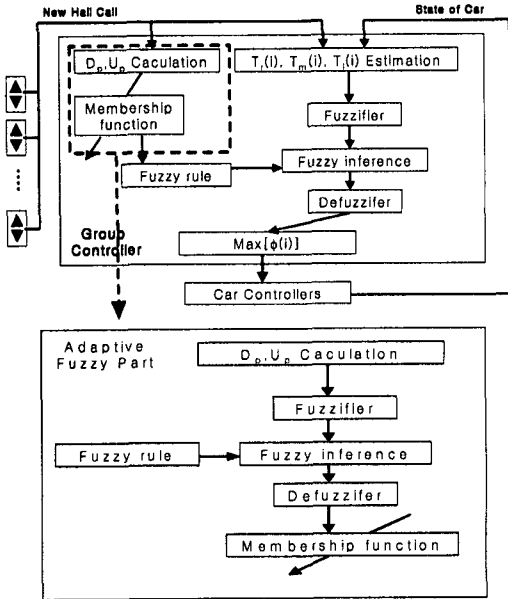


Fig. 5 Block Diagram

본 연구에서 제안된 Adaptive dual 퍼지 알고리즘의 효율성을 검증하기 위하여 엘리베이터 군 제어 시뮬레이터를 개발하여 실험을 수행하였다. Hall Call, Car Call 발생은 기존의 운행방식과의 비교를 위해 동일한 Call의 발생이 필요하므로 약 15 ~ 20분간의 임의의 발생 데이터를 DB로 저장하여 시뮬레이터가 지정된 시간에 이 데이터에 반응하도록 시뮬레이션을 수행시켰다. Call 발생 데이터는 처음에는 Normal Traffic이 발생하고 점차 Up-peak Traffic이 약 5분간 발생한 후 다시 Normal Traffic이

발생한 후 약 5분간 Down-peak Traffic이 발생하도록 구성하였다. Fig. 6은 발생 데이터들의 Up와 Dp의 값을 보여준다.

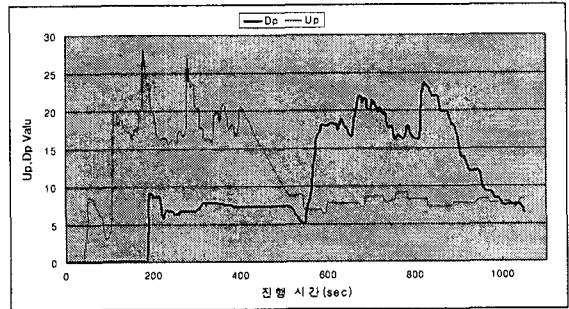


Fig. 6 Data of traffic pattern

일반적인 운행 효율의 판단으로 장대기의 발생과 승강장 요구의 평균응답시간이 사용되므로 본 논문에서도 이를 사용하여 각 군 제어방식을 비교한다. 전체적인 결과가 Table. 4에 나타나 있다.

Table 4 Simulation Result

| | 장대기 발생 | 최대대기 시간 | 대기시간 총합 | 평균대기 시간 |
|---------------------|--------|---------|---------|---------|
| 대기시간 최소방식 | 38회 | 160초 | 5952초 | 37.2초 |
| 평균대기시간 최소방식 | 40회 | 150초 | 5982초 | 37.3초 |
| 장대기시간 최소방식 | 34회 | 142초 | 6102초 | 38.1초 |
| Fuzzy | 33회 | 150초 | 5630초 | 34.9초 |
| Adaptive Dual Fuzzy | 29회 | 154초 | 4984초 | 31.1초 |

장 대기 발생(60초로 설정)은 기존의 방법중에는 장대기 시간 최소방식이 34회로 좋은 결과를 나타냈고 퍼지가 조금 더 향상된 결과를 보였다. 본 연구에서 제안한 Adaptive Dual Fuzzy 알고리즘 방식은 29회로 가장 좋은 성능을 나타내었는데, 이는 전체적으로 모든 교통 상황에 적절하게 엘리베이터를 할당함으로써 나타난 결과로 판단된다. 약 20분 동안의 승강장 요구중에 가장 오래 기다린 최대대기 시간은 타 방식에 비해 조금 크게 나왔는데, 일반적으로 이런 큰 대기시간이 나오는 이유는 할당할 당시는 가장 적절한 엘리베이터였지만 할당 후에 새로운 Hall Call이나 Car Call의 발생으로 그 승

강장까지의 시간의 지연으로 나타나는 결과로서 주로 Up-peak나 Down-peak시에 많이 발생하게 된다. Adaptive Dual Fuzzy 알고리즘도 미래의 불확실한 요구까지 만족시키는 것은 무리가 따른다. 이 최대 대기 시간은 모든 군 제어 알고리즘이 유사한 결과가 나타났다.

평균 대기시간을 살펴보면, Table. 4에 나타나듯이 Adaptive Dual Fuzzy 방식이 31.1초로 월등한 결과를 보인다. Fig. 7은 시뮬레이션 시작시부터 평균 대기시간의 추이를 나타내고 있다. Up-peak시는 평균 대기시간 최소화 방식이 좋은 결과를 나타내었지만 Down-peak시에 갑자기 가파르게 증가하는 현상을 보였다. 다른 군 제어 방식들은 Up-peak시에 평균 대기시간이 급속도로 늘어났다가 Down-peak시에 어느정도 안정되어가는 현상을 볼 수 있다. 이에 반해 Adaptive Dual Fuzzy 방식은 전체적으로 평균 대기시간이 안정화 되어 있는 것을 볼 수 있었으며, 이러한 결과는 결론적으로 승객들의 대기 시간을 타 방식들에 비해 Up-peak와 Down-peak시 모두 줄였다는 것을 의미한다.

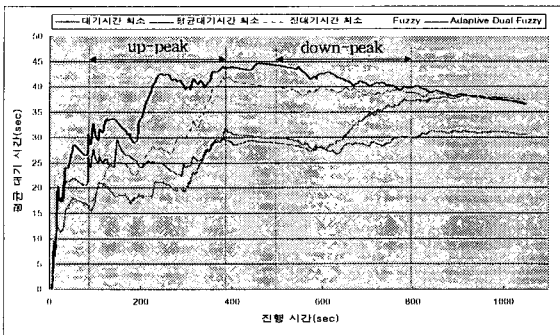


Fig. 7 Mean response time on a hall call

이상에서 기존의 군 제어 방식들은 특정한 교통 환경이나 어떤 정해진 제어 목적을 만족 시키는 데는 좋은 결과를 낼 수 있었으나 모든 경우를 고려할 때 Adaptive Dual Fuzzy 제어방식이 가장 유연하고 효과적으로 엘리베이터를 할당했다는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

(1) 기존의 군 제어 방식의 단점인 다양한 제어 목적의 만족과, 변화하는 교통 환경에의 적응에 대한 문제를 극복하고자 Adaptive Dual Fuzzy 제어기

를 제안하여 시뮬레이션을 수행한 결과 향상된 결과를 나타냄을 볼 수 있었다.

(2) 교통 패턴의 인식에 대한 문제를 승강장 호출과 동시에 분석할 수 있는 새로운 방법을 제시하였고 이를 시뮬레이션에 적용하여 보았다.

(3) 실제 엘리베이터와 유사하게 동작하는 시뮬레이터를 개발하였고, 이를 통해 제안한 군 제어기의 성능을 확인할 수 있었다.

향후 연구 계획으로 재할당 알고리즘을 도입하여 군 제어기의 성능을 더욱 향상시킬 필요가 있다. 불확실한 Hall Call이나 Car Call의 발생시 장대기가 많이 발생하므로 이를 억제하기 위해 재할당 알고리즘을 연구한다.

참고문헌

1. T.Tobita, A.Fujino, H.Inaba, K.Yoneda, and T.Ueshinma, "Elevator Characterized Group Supervisory System," IECON, pp. 1972-1976, 1991.9.
2. D.L.Pepyne and C.G.Cassandras, "Optimal Dispatching Control for Elevator Systems During Uppeak traffic," Proceedings of the 35th IEEE CDC, Kobe, Japan, 1996.
3. D.L.Pepyne and C.G.Cassandras, "Optimal Dispatching Control for Elevator Systems During Uppeak Traffic," IEEE Trans. on Control System Technology, 1998.
4. W.L.Chan and A.T.P. So, "Dynamic Zoning in Elevator Traffic Control," Elevator Technology 6, IAEE, pp. 132-140, 1995.
5. W.L.Chan and A.T.P. So, "Comprehensive Dynamic Zoning Algorithms," Elevator World, pp. 99-109, September, 1997.
6. A.F.Alani, P.Mehta, and J.Stonham; R.Prowse, "Performance Optimisation of Knowledge-based Elevator Group Supervisory Control System," Elevator Technology 6, IAEE, pp. 114-121, 1995.
7. B.A.Powell, "Important Issues in Up-peak Traffic Handling," Elevator Technology 4, IAEE, pp. 207-218, 1992.
8. M.Amano, M.Yamajaki, and H.Ikejima. "The Latest Elevator Group Supervisory Control System,"

- Elevator Technology 6, IAEE, pp. 88-95, 1995.
9. A.T.P.So, J.R.Beebe, W.L.Chan, and S.K.Liu.
"Elevator Traffic Pattern Recognition by Artificial Neural Network," Elevator Technology 6, IAEE, pp. 122-131, 1995.
10. Y.Umeda, K.Uetani, H.Ujihara, and S.Tsuji.
"Fuzzy Theory and Intelligent Options," Elevator World, July, 1989.